

OCS

**INFORMATION REPORT INFORMATION REPORT**

**CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY**

This material contains information affecting the National Defense of the United States within the meaning of the Espionage Laws, Title 18, U.S.C. Secs. 793 and 794, the transmission or revelation of which in any manner to an unauthorized person is prohibited by law.

**S-E-C-R-E-T**

25X1

COUNTRY	USSR (Ukrainian SSR)	REPORT	
SUBJECT	Soviet Produced Electro-Hydrodynamic Analog (Machine) EGDA-6/53 / Soviet language information bulletin / List of institutions which are utilizing machine in USSR	DATE DISTR.	22 November 1957
DATE OF INFO.		NO. PAGES	1
PLACE & DATE ACQ.		REQUIREMENT NO.	
		REFERENCES	

25X1  
25X1  
25X1

SOURCE EVALUATIONS ARE DEFINITIVE. APPRAISAL OF CONTENT IS TENTATIVE

1. A copy of an unclassified Russian-language information bulletin entitled "Integrator EGDA-6/53" authored by P.F. Fil'chakov and V.I. Panchishin, and published by the Publishing House, Academy of Sciences, Ukrainian SSR, in 1955, (I)

25X1

2. The EGDA-6/53 is based on the electro-hydrodynamic analog (machine) developed by N.N. Pavlovskiy. It incorporates the use of electro-conductive paper for the solution of binary problems, in physical mathematics, which can be represented by homogeneous differential equations in partial elliptic-type derivatives. Examples are given, describing the methods for computing some practical problems in the fields of hydraulic engineering, aerodynamics, electrical engineering, construction mechanics, etc. There is also an indication as to limitations in accuracy, inherent in the use of presently available electro-conductive paper. The bulletin itself is intended for use by engineering and design personnel in the fields of hydraulic and thermal engineering, aviation, ship building, and in appropriate technical institutes. LY/SO

3. The latter section of the bulletin includes a comprehensive bibliography, and a list of institutions in the USSR which were utilizing the EGDA-6/53 as of 1 June 1955.

25X1

**S-E-C-R-E-T**

25X1

STATE	<input checked="" type="checkbox"/> ARMY	<input checked="" type="checkbox"/> NAVY	<input checked="" type="checkbox"/> AIR	<input checked="" type="checkbox"/> FBI	AEC				
-------	--	--	---	---	-----	--	--	--	--

(Note: Washington distribution indicated by "X"; Field distribution by "#".)

**INFORMATION REPORT INFORMATION REPORT**

64

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР  
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ

ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ № 1

П. Ф. ФИЛЬЧАКОВ, В. И. ПАНЧИШИН

## ИНТЕГРАТОР ЭГДА-6 53



STAT

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР  
КИЕВ -- 1965

Печатается по постановлению Института математики  
Академии наук Украинской ССР



STAT

В брошюре даны данные об интеграторе ЭГДА-6/53, предназначенном для моделирования на электропроводной бумаге двумерных задач математической физики, описываемых однородными дифференциальными уравнениями и частными производных эллиптического типа.

Кроме того, излагается в краткой форме методика моделирования некоторых практических задач гидротехники, аэродинамики, электротехники, строительной механики и т. д. на электропроводной бумаге с помощью интегратора ЭГДА-6/53. Приведены также замечания о погрешности при моделировании на электропроводной бумаге.

Брошюра рассчитана на научных работников и инженеров-проектировщиков гидротехнических, авиационных, теплотехнических, кораблестроительных и других технических институтов.

Ответственный редактор  
член-корреспондент АН УССР Ю. Д. Соколов

Павел Федосович Фильчиков  
Валентин Иванович Панчишин  
Интегратор ЭГДА-6/53

Редактор Д. К. Лисенбарт

Техредактор А. Л. Жуковский

Корректор В. В. Радошук

БФ 1717 3-4 № 1717 Изд. № 182 Тираж 600 Формат бумаги (А) х (Б)  
печати 12/ХІ 1955 г

Типография Издательства АН УССР, Киев, Ретина, 2

STAT

## ВВЕДЕНИЕ

Электронинтеграторы, широко применяемые в настоящее время при решении различных задач, обычно являются электронинтеграторами сеточного типа [5].

Проводящей средой служит дискретная сетка, набранная из постоянных или переменных сопротивлений с возможным подключением емкостей и самоиндукций.

Наличие такой сетки позволяет решать на интеграторе широкий класс задач, описываемых дифференциальными уравнениями с переменными коэффициентами и переменной правой частью типа Лапласа, Пуассона, Фурье, телеграфного и др.

Однако создание универсальной сетки очень кропотливо, трудно и дорого, поэтому для решения более узкого круга задач целесообразно создавать более простые специализированные интеграторы.

Для решения задач фильтрации, которые описываются уравнением типа Лапласа, акад. Н. Н. Павловским [15] разработан еще в 1918—1920 гг. и опубликован в 1922 г. метод электрогидродинамических аналогий (ЭГДА).

Существование электрогидродинамических аналогий впервые в 1887 г. теоретически обосновал проф. Н. Е. Жуковский [10, лекция IV].

В дальнейшем метод ЭГДА был усовершенствован и применен как для решения самых разнообразных задач фильтрации, включая и решения пространственных задач в однородном и неоднородном грунтах при наличии свободных поверхностей, так и для решения задач движения нефти, задач по определению давления волны на гидросооружения, задач теории упругости и др.

В настоящее время метод ЭГДА получил самое широкое распространение как в нашей стране, так и за ее пределами (см., например, [1, 4, 12, 17, 22, 26, 32, 33—40]).

В качестве проводящей среды в методе ЭГДА применялись станиоль, смесь графита с мраморной крошкой, электродиты водные и желеобразные (на агар-агаре) и некоторые другие материалы.

Нами \* [25] в 1949 г. было предложено для моделирования задач

\* В 1953—1954 гг. в иностранной литературе также появились интересные работы (например, [36, 37], [40]), посвященные моделированию на электропроводной бумаге

фильтрации использовать электропроводный картон, который изготовлялся либо пропитыванием обыкновенного картона высокостабильными электролитами, либо путем введения в бумажную массу графита.

В связи с этим необходимо заметить, что электропроводная бумага промышленного изготовления была разработана для технических целей значительно раньше, а именно: в 1944 г. Б. Б. Гутманом [6].

Эта бумага была нами позже применена для моделирования задач фильтрации и дала вполне удовлетворительные результаты, несмотря на ее большую электрическую неоднородность [26].

По просьбе Института математики АН УССР в Центральном научно-исследовательском институте бумаги (Ленинград) под руководством Б. Б. Гутмана была начата разработка электропроводной бумаги повышенного качества специально для целей электро моделирования.

В частности, в новых лабораторных образцах такой бумаги удалось значительно повысить ее электрическую однородность, понизить гидрофобность и, самое главное, разработать сорта электропроводной бумаги, удельная проводимость которой изменяется от десятков омов на квадратный сантиметр до нескольких мегом на квадратный сантиметр, что открывает весьма широкие перспективы для моделирования на электропроводной бумаге.

Первый прибор ЭГДА-1 для моделирования задач фильтрации \* на электропроводном картоне был сконструирован и построен в 1947 г. В. И. Панчишиным и П. Ф. Фильчаковым на базе прибора ЭГДА акад. Н. Н. Павловского. Этот прибор работает безотказно до настоящего времени в Киевском гидромелиоративном институте.

Интегратор ЭГДА-3 был изготовлен в 1949 г. по заказу треста Союзводпроект (Москва). В этом интеграторе в качестве питающего тока применяется ток звуковой частоты в диапазоне от 2(к) до 6(к) гц, а нуль-прибором служит гальванометр со световым отсчетом [29].

Интеграторы ЭГДА-4 и ЭГДА-5 являются экспериментальными малогабаритными интеграторами настольного типа \*\*.

Эти интеграторы предназначены для работы на электропроводной бумаге промышленного изготовления, поэтому в качестве питающего тока в них применен постоянный ток, что позволило упростить измерительное устройство этих приборов.

На базе пятой модели в 1951 г. нами разработан [28] интегратор ЭГДА-6 51.

Выпуск этих интеграторов был затем освоен физико-техническими экспериментальными мастерскими Киевского государственного университета, которые выпустили 16 таких приборов.

В результате изучения опыта эксплуатации прибора в интеграторе

\* В связи с тем, что на приборе ЭГДА по сути дела выполняется интегрирование уравнения Лапласа, нам кажется более правильным называть его «Интегратор ЭГДА».

\*\* Например, габаритные размеры интегратора ЭГДА-5 составляли  $220 \times 180 \times 110$  мм, вес 4 кг, а интегратора ЭГДА-7 —  $230 \times 130 \times 70$  мм гальванометром, вес 2,5 кг.

ЭГДА-6/51 внесены некоторые конструктивные изменения, в частности, усилена стабильность регулировки 0 и 100%, измерительное устройство типа подвижной каретки заменено измерительным устройством настольного типа.

С декабря 1953 года изготавливается новая модель: интегратор ЭГДА-6/53.

В настоящее время 46 интеграторов ЭГДА-6/51 и ЭГДА-6/53 эксплуатируются в различных научно-исследовательских, проектных и учебных институтах.

Список организаций, использующих в своих работах интеграторы ЭГДА-6/51 или ЭГДА-6/53, приведен в приложении.

Естественно, что прибор ЭГДА-6/53 также имеет ряд недостатков. Все предложения и замечания просим направлять по адресу: г. Киев, пл. Калинина 6, Институт математики АН УССР.

## § 1. НАЗНАЧЕНИЕ ИНТЕГРАТОРА

Интегратор ЭГДА-6/53 разработан на основе прибора электрогидродинамических аналогий (ЭГДА) акад. Н. Н. Павловского [15] и представляет собою универсальную электрическую модель для решения двумерных задач математической физики, описываемых однородными дифференциальными уравнениями в частных производных эллиптического типа

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ A_1(x, y) \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ A_2(x, y) \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] = 0 \quad (1)$$

и, в частности, уравнением Лапласа

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0. \quad (2)$$

В качестве проводящей среды в интеграторе ЭГДА-6/53 применяются различные по проводимости сорта электропроводной бумаги, поэтому коэффициенты  $A_1$ ,  $A_2$  уравнения (1) могут быть по условию переменными для всей исследуемой области, но в пределах некоторых зон коэффициенты  $A_1$ ,  $A_2$  должны сохранять постоянное значение. Геометрическая форма этих зон ничем не ограничена, а ограничения, накладываемые на их число и диапазон изменения коэффициентов  $A_1$ ,  $A_2$  настолько незначительны, что позволяют решать очень широкий класс технических задач.

Уравнение (1) можно моделировать на интеграторе ЭГДА-6/53 при краевых условиях I, II и III рода.

Круг практических задач из различных областей науки и техники, описываемых уравнением (1), очень широк. Сюда, например, относятся ряд задач электротехники, теплотехники, гидротехники и аэродинамики, строительной механики и т. д.

## **§ 2. КОНСТРУКЦИЯ ИНТЕГРАТОРА ЭГДА-6 53**

Интегратор ЭГДА-6 53, общий вид которого представлен на рис. 1, а принципиальная схема — на рис. 2, состоит из питающего устройства, измерительного устройства, панели моделирования задач, измерительной иглы, гальванометра и стола.

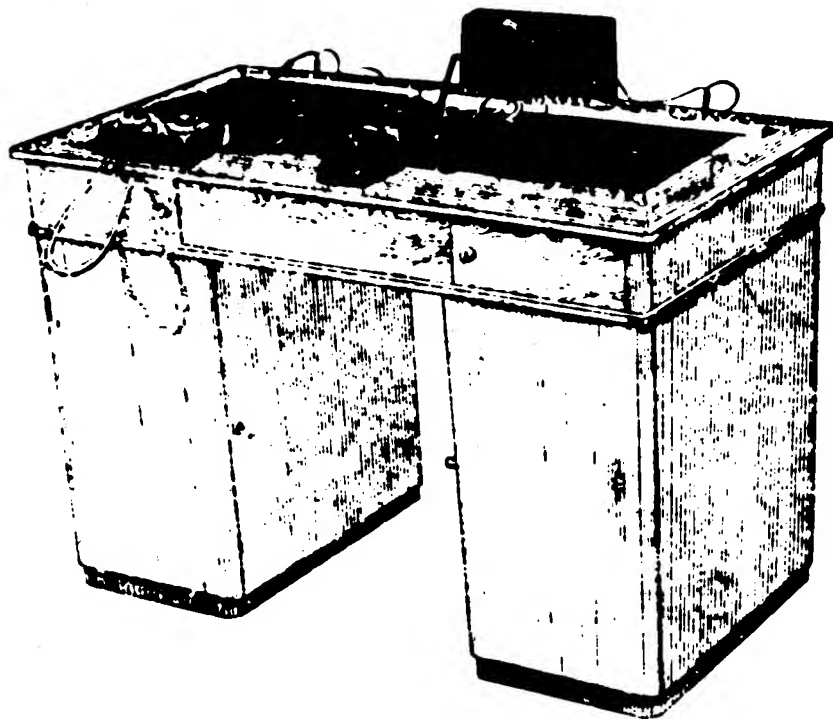


Рис. 1. Общий вид интегратора.

Измерительное устройство интегратора представляет собой мост постоянного тока, где декада и реохорд имеют равномерные шкалы для измерения значений потенциала в разных точках модели в процентах от максимального напряжения питания, принятого за 100%. Точность измерений 0,1% от максимального напряжения.

Питание измерительного устройства и модели производится от сетевого выпрямителя на 24 в. собранного по двухполупериодной схеме.

Выпрямитель постоянно нагружен омическим делителем, с которого можно снимать напряжение через 10% от максимального значения.

Конструктивно интегратор выполнен в виде письменного стола на котором жестко укреплено питающее устройство, электрически связанное соединительным шнуром с измерительным устройством.

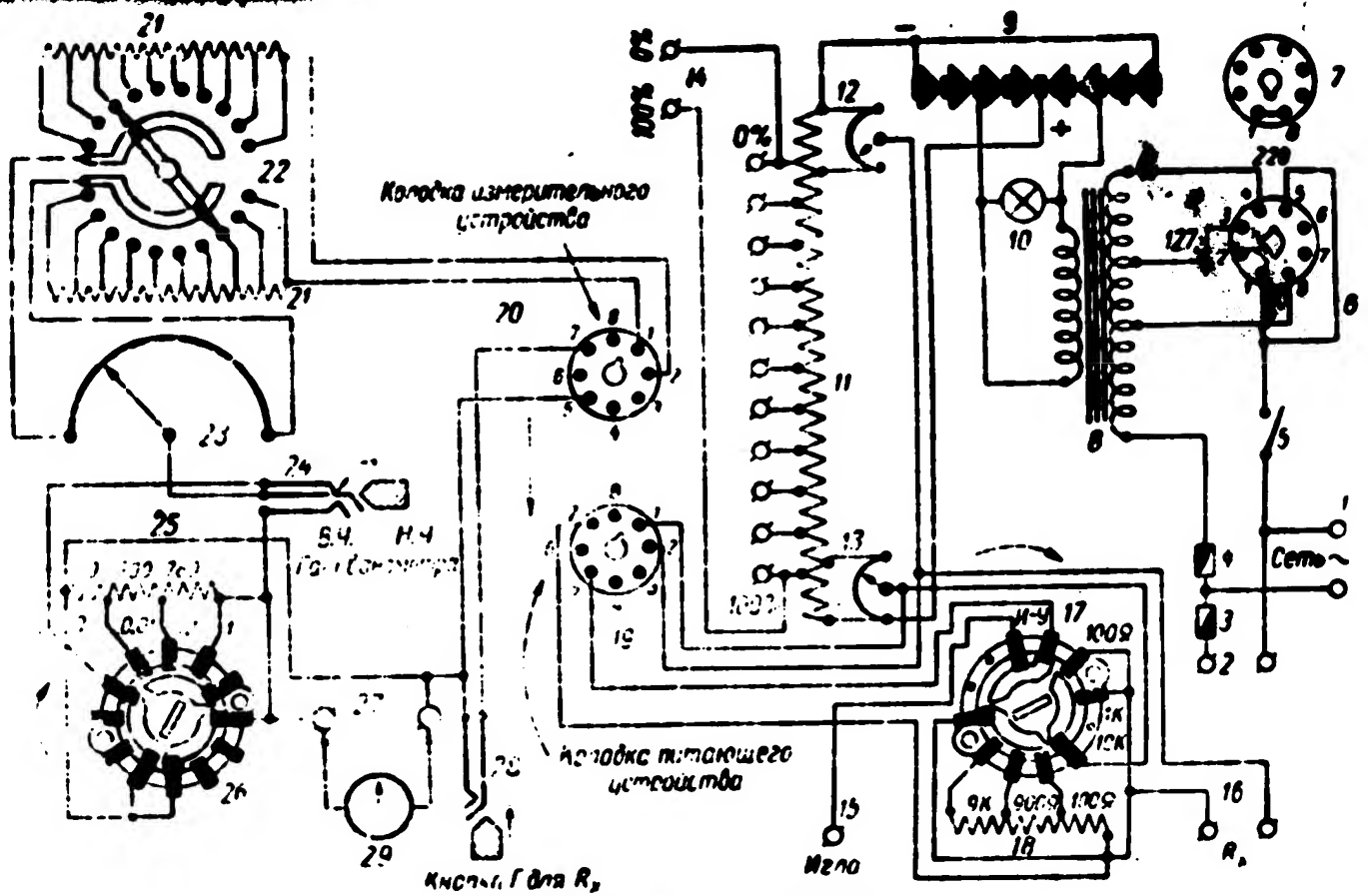


Рис. 2. Принципиальная схема



На питающем устройстве размещены элементы переключения напряжений питания и сети, гнездо переключателя для измерения сопротивления бумаги, ручки потенциометров, компенсирующих падение напряжения на соединительных проводах, выключатель сети, индикаторная лампочка и гнезда для подключения напряжения.

Измерительное устройство собрано в небольшой (180 × 130 × 60 мм) металлической коробке.

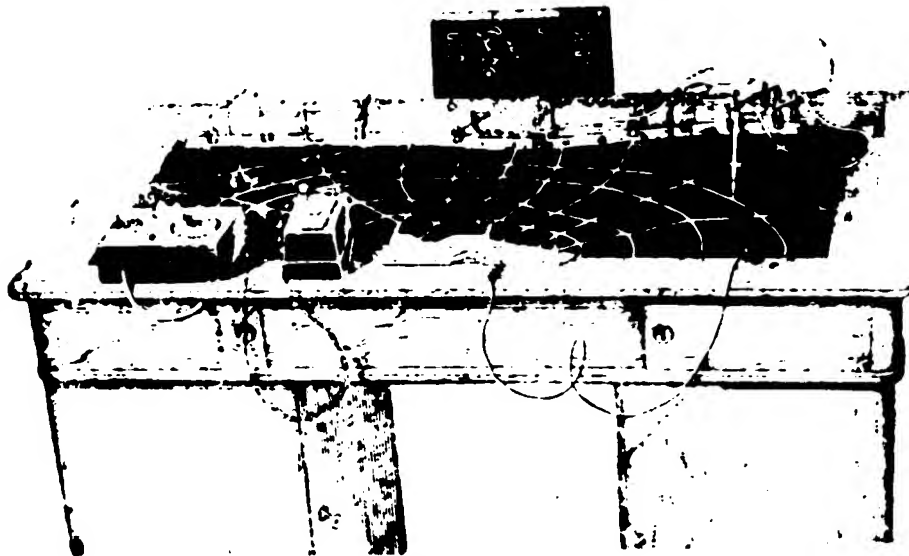


Рис. 3. Крышка стола с моделью

На верхней крышке расположены ручка и шкала переключения декал для определения первого знака, ручка и шкала реохорда для определения второго и третьего знаков измеряемого потенциала и данной дека модели, ручка шунта гальванометра, гнезда для включения гальванометра и две кнопки для изменения чувствительности гальванометра.

В качестве нуля-прибора служит стрелочный гальванометр типа ГМН-149 или любой другой прибор чувствительностью порядка 1 мкА на 1° шкалы.

Панель моделирования задач изготовлена из гетинакса или текстолита, наклеенного на крышку стола, и служит для размещения модели из электропроводной бумаги и задания граничных условий (рис. 3).

Стол двухтумбовый типа письменного. Одна тумба используется для хранения электропроводной бумаги, другая для вспомогательных инструментов и приспособлений.

На интеграторе ЭГДА-6.53 можно реализовать граничные условия следующих видов:

а)  $\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$ , б)  $\varphi = \text{const}$ , в)  $\varphi = f(s)$ , где  $s$  — дуга границы области

Для реализации граничных условий служат специальные приспособления.

Комплекты зажимов (рис. 4) длиной в 20, 40, 80 и 160 мм для задания граничных условий  $\varphi = \text{const}$  на прямолинейных участках границы.

Для криволинейных участков границы служат полосовые шины, которые можно изогнуть по заданному контуру любой формы и в таком виде прижать к модели специальными ключами (рис. 5).

Чтобы задать граничные условия по ломаной с большим числом звеньев, по кругу с малым радиусом или по сложному профилю с большой кривизной, можно применять гибкие шины. Для этого голый, хорошо очищенный, медный провод диаметром 0,3—0,5 мм выкладывают по заданному контуру модели и приклеивают специальным электропроводным клеем (рис. 6),

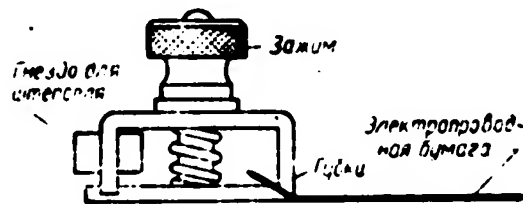


Рис. 4. Шина-зажим.

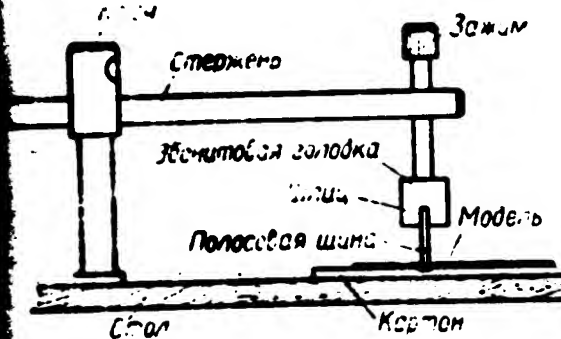


Рис. 5. Зажимной ключ

рецепт которого приведен в работах [28; 30].

На участках границы, где потенциал есть функция дуги границы  $s$  (например, на промежутках высачивания в задачах фильтрации), граничные условия реализуются при помощи гибких линейных шин решетчатого типа (рис. 7), прилегающих к интегратору.

Интегратор ЭГДА-6,53 удобен в эксплуатации, в частности, гальванометр всегда можно расположить в удобном для оператора месте. Моделирование двумерных (плоских) задач в однородной или неоднородной среде на электропроводной бумаге технически значительно проще моделирования этих задач на станциях или в электролитических ваннах и кюветах. Кроме того, контактная разность потенциалов между металлическими шинами и электропроводной бу-

малой настолько мала, что практически не влияет на результаты измерений.

В заключение следует отметить, что в настоящее время для расширения возможностей использования интегратора ЭГДА-6 53 поготавливается выпуск потенциометрического делителя напряжения 50 регулируемых точек.

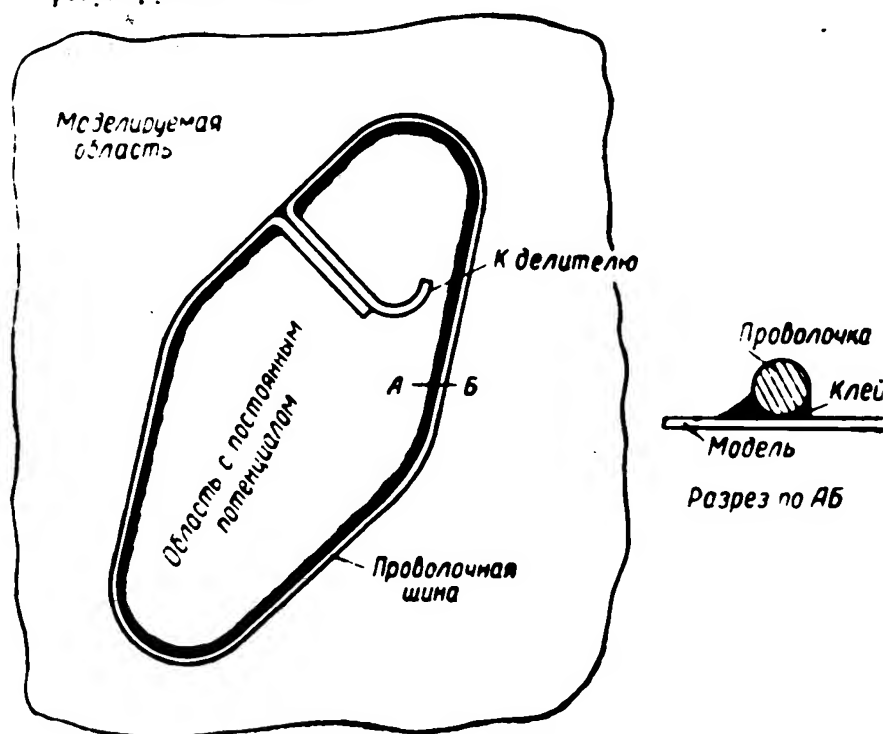


Рис. 6 Проволочная шина, приклеенная к модели

Для задания функциональных граничных условий с каждым потенциометром можно будет снимать любое наперед заданное значение потенциала с точностью до 0,1%.

### § 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОЙ БУМАГЕ

Интегратор ЭГДА-6 был разработан специально для моделирования задач фильтрации, с описания которых мы и начинаем данный параграф.

Решение задач фильтрации в наиболее полном объеме, как известно, сводится к построению гидродинамической сетки движения, то есть сетки из эквипотенциальных линий и линий тока.

При моделировании сетки эквипотенциалов геологический разрез грунта, а также и тело земляной плотины, воспроизводится из соответствующих по сопротивлению сортов электропроводной бумаги, резанных по форме, геометрически подобной различным зонам нату

Для измерения удельной проводимости различных зон служит кольцевой шуп [22], измеряющий сопротивление между двумя концентрическими окружностями (рис. 8).  
Различные зоны между собой склеиваются специальным электропроводным клеем [28; 30].



Рис. 7. Линейная шина.

После того, как модель грунта изготовлена, реализуются граничные условия: вдоль линий быефов, являющихся линиями равного пьезометрического напора, устанавливаем металлические (эквипотенциальные) шины, а вдоль граничных линий тока (водонепроницаемые стенки сооружений, линия водопора и т. д.) устанавливаем «изоляцию», т. е. обрезаем электропроводную бумагу вдоль этих линий, чем преграждаем путь току.

При моделировании задач фильтрации со свободными поверхностями кривая депрессии определяется путем подбора, но это осуществляется на электропроводной бумаге значительно проще, чем для других электропроводных сред.

Установив граничные условия, подключаем вдоль линий верхнего и нижнего быефов рабочее напряжение, которое принимаем равным 100% от  $H$ , и все измерения ведем в процентах от действующего напора  $H$ .

Эквипотенциальные линии строим, отыскав при помощи измерительной иглы ряд точек с заданным потенциалом и соединив их плавными кривыми. Вычерчиваем эквипотенциальные линии цветными карандашами непосредственно на электропроводной бумаге. При этом на одной и той же модели можно строить сетки для 4—5 различных вариантов, используя различные цвета карандашей. Для получения копий гидродинамических сеток под электропроводную бумагу можно подложить лист белой бумаги или кальки. В процессе решения задачи все точки, найденные измерительной иглой, автоматически фиксируются на подложенной бумаге.

Линии тока строятся также непосредственно на электропроводной бумаге с помощью интегратора. Для построения линий тока надо

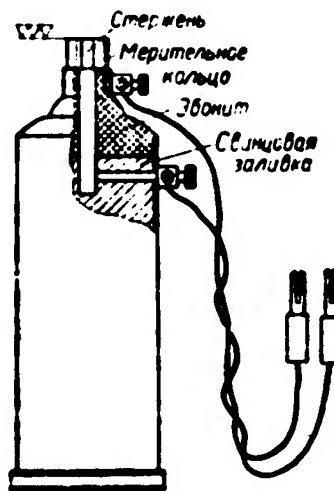


Рис. 8. Кольцевой шуп для измерения относительного сопротивления бумаги.

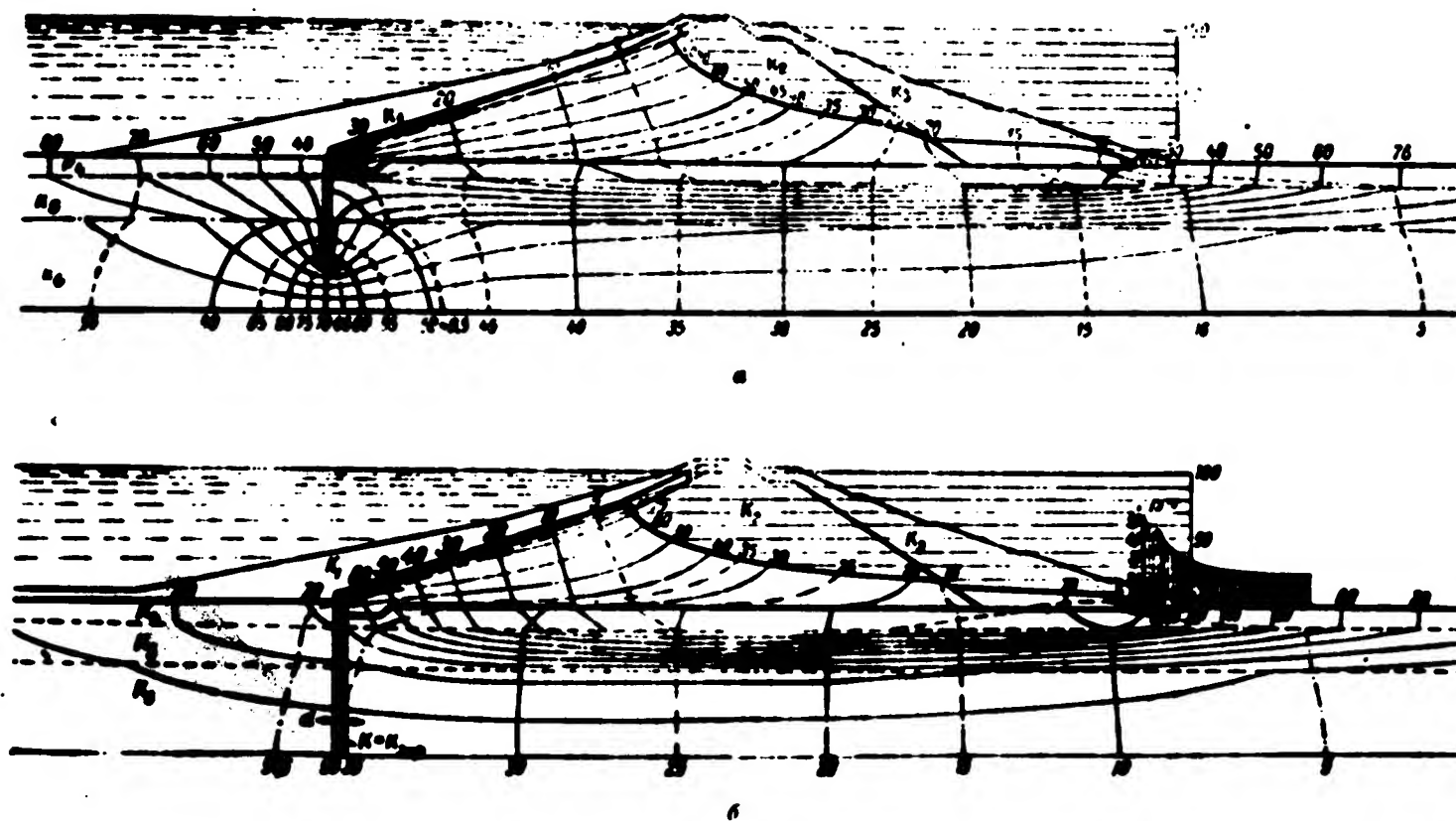


Рис. 9. Гидродинамические сети для земной лодки.

«обратить» задачу, то есть вдоль прежних граничных эквипотенциальных линий установить изоляцию (обрезать бумагу), а вдоль прежних граничных линий тока установить металлические шины и приложить рабочую разность потенциалов, которую принимаем равной 100% от полного фильтрационного расхода.

Модель грунта для «обращенной» задачи надо построить заново: контуры ее должны совпадать с построенной ранее моделью, а проводимость различных зон должна быть подобрана обратно пропорциональной коэффициентам фильтрации соответствующих зон натуры [30; 32].

Эквипотенциальные линии этой «обращенной» задачи являются линиями тока для исходной задачи.

Совместив на одном чертеже линии тока и эквипотенциальные линии, получим гидродинамическую сетку движения грунтовых вод, по которой легко определить все интересующие нас характеристики грунтового потока: противодавление и скорость фильтрации в любой точке подземного контура сооружения или области фильтрации, а также фильтрационный расход (полный или частичный).

При этом одинаково легко моделируются как задачи напорной фильтрации, так и задачи фильтрации через земляные плотины и каналы [30; § 8—13].

На рис. 9 в качестве иллюстрации приведены гидродинамические сетки для двух вариантов земляной плотины, тело которой и грунт основания сложены из шести зон различной водопроницаемости.

Кроме задач фильтрации, на электропроводной бумаге легко моделируются плоские задачи по циркуляционному обтеканию тел\* [14], и задачи обтекания со срывом струй [27].

В задачах обтекания со срывом струй форма свободных струй определяется путем довольно простого подбора, методика которого вытекает из результатов академика М. А. Лавреньева [11].

В качестве иллюстрации на рис. 10 построена сетка линий тока и линий равного потенциала при обтекании с циркуляцией двух профилей.

На электропроводной бумаге с помощью интегратора ЭГДА-6 53 также удобно моделировать задачи на построение потенциальных полей, причем граничные значения функции могут претерпевать разрыв непрерывности, что при реализации граничных условий не вызывает затруднений [30; § 18].

На рис. 11 в качестве иллюстрации построено поле асимметричного плоского конденсатора, а на рис. 12 — поле вибратора.

Остановимся еще на моделировании плоских задач кручения и изгиба.

При моделировании этих задач на электропроводной бумаге Ю. В. Благовещенским была предложена интересная идея применения своеобразного «микромкопа», которая заключается в том, что для

\* Методика моделирования этих задач в электролитической ванне была ранее разработана Тейлором и Шерманом [34], С. Г. Поповым [18] и А. Н. Пятковским [16].

получения более высокой точности моделирования решается некраевая задача при граничных условиях, равных погрешности измерения на контуре области, возникших в первом шаге.

Так как эти погрешности сравнительно малы, то их предварительно увеличивают в некоторое число раз, благодаря чему прием и называется «микроскопом».

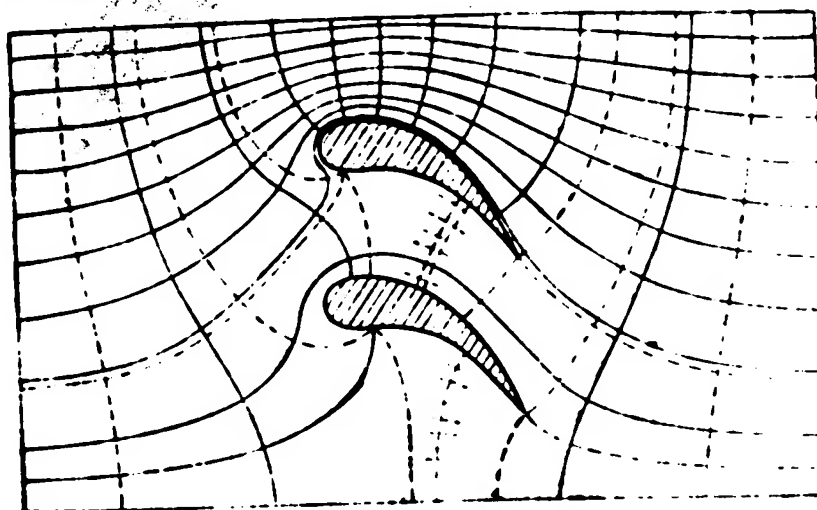


Рис. 10. Циркуляционное обтекание двух профилей.

Подробнее техника моделирования этих задач изложена в статье В заключение отметим, что на электропроводной бумаге легко решается ряд важных технических задач, например, [21; 24; 37; 40], а также задачи движения нефти в пористой среде, задачи определения напряжения в основании сооружений по метод В. А. Флорина [31] с уточнениями, сделанными Л. И. Дятловиным [9], и ряд других задач.

При этом все задачи, которые моделируются в электролитическом или на сеточном интеграторе, как например, задачи, рассмотренные в работах [3; 12; 19], также могут быть промоделированы на электропроводной бумаге \*.

#### § 4. О ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОЙ БУМАГЕ

Электропроводная бумага изготавливается в полупромышленном масштабе с электрической неоднородностью порядка  $\pm 10\%$ .

Благодаря усреднению по площади при моделировании уравнения Лапласа на бумаге с электрической неоднородностью порядка  $\pm 1$

\* В работе [30] приведены краткие указания о моделировании простейших задач на электропроводной бумаге.

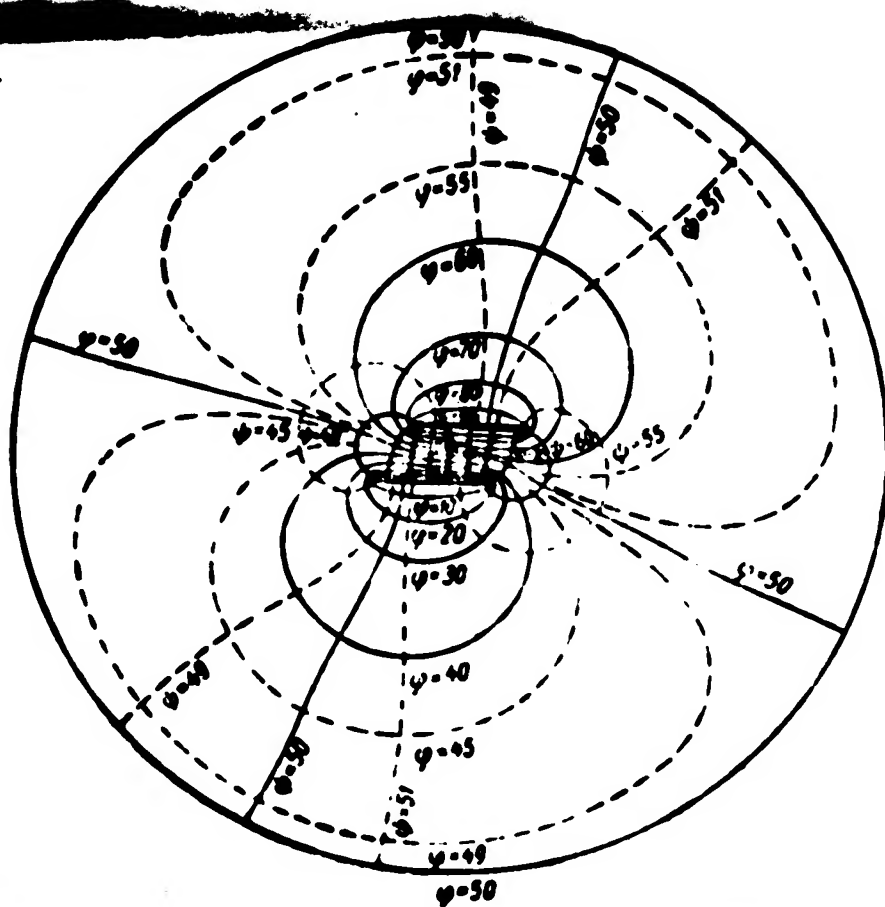


Рис. 11. Сетка для плоского асимметричного конденсатора.

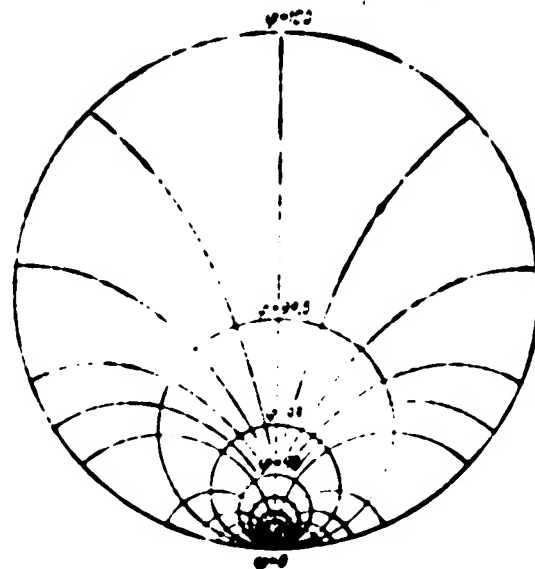


Рис. 12. Поле вибратора.



достижима точность  $\pm 1\%$  при определении самой искомой функции. При определении же производных этой функции или величин, которые выражаются через производные, погрешность резко возрастает [13, 26].

В настоящее время в Центральном н.-и. институте бумаги (Ленинград) в содружестве с Институтом математики АН УССР разрабатываются и изготавливаются более однородные сорта электропробовых бумаг.

## § 5. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ИНТЕГРАТОРА ЭГДА-6/53

1. Габаритные размеры: длина 1300 мм, ширина 700 мм, высота 800 мм.
2. Вес 130 кг.
3. Размеры измерительного устройства: 180 × 130 × 60 мм.
4. Интегратор питается от сети переменного тока 110, 127, 220 вольт. Потребляемая мощность порядка 100 ватт.
5. Рабочее напряжение 24 вольта постоянного тока.
6. Точность измерений 0,1% от максимального рабочего напряжения.

В комплект интегратора ЭГДА-6/53 входит

1. Измерительное устройство	1 шт.
2. Питательное устройство	1 шт.
3. Гальванометр стрелочный	1 шт.
4. Стол двухтумбовый специальный	1 шт.
5. Шкала измерительная	1 шт.
6. Шины зажимные (20; 40; 80 и 160 мм)	30 шт.
7. Шины полосовые	3 лог. л.
8. Шины линейные	2 шт.
9. Щуп кольцевой для измерения проводимости бумаги	1 шт.
10. Ключи зажимные для полосовых шин	30 шт.
11. Шнуры коммутационные	20 шт.
12. Перемычки для шин-зажимов	12 шт.
13. Шнуры закоротки	5 шт.
14. Размножители потенциалов	5 шт.
15. Набор электропроводных бумаг разной проводимости	5 кг.
16. Инструкция по эксплуатации и методике обслуживания	1 шт.

\* По желанию заказчика количество поставленной электропроводной бумаги может быть увеличено.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аравин В. И., Дружинин Н. И., Некоторые вопросы методики экспериментальных исследований пространственной фильтрации методом электрогидродинамических аналогий, Известия ВНИИГ, т. 40, 1949.
2. Аравин В. И., Нумеров С. Н., Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений, изд. 2, Стройиздат, 1955.
3. Белаш П. М., Моделирование задач движения нефти. В книге: Крылов А. П., Глаговский М. М., Мирчинк М. Ф., Николаевский Н. М., Чарный И. А., Научные основы разработки нефтяных месторождений, Гостехиздат, М.-Л., 1948.
4. Благовещенский Ю. В., Фильчаков П. Ф., Развязания плоских задач кручения течения за допомогою методу електрогідродинамічних аналогій, Прикладна механіка, № 2, 1955.
5. Гутенмахер Л. И., Электрические модели, Изд-во АН СССР, М., 1949.
6. Гутман Б. Б., Электропроводящая бумага, Сборник статей по отдельным вопросам целлюлозной и бумажной промышленности, Госбумиздат, М., 1944.
7. Дружинин Н. И., Портативные приборы ЭГДА, Техническая информация ВНИИГ, Л., 1953.
8. Дружинин Н. И., К вопросу учета переходных сопротивлений шин при исследовании фильтрации методом ЭГДА, Известия ВНИИГ, т. 52, 1951.
9. Дятловский Л. И., Определение напряжений и оснований сооружений с помощью электронного интегратора или прибора ЭГДА, Гидротехническое строительство, № 4, 1952.
10. Жуковский Н. Е., Лекции по гидромеханике, Ученые записки Московского университета, вып. 7, 1887, собрание сочинений, т. II, Гостехиздат, М.-Л., 1948.
11. Лаврентьев М. А., О некоторых свойствах однолистных функций и приложениях к теории струй, Математический сборник, новая серия, т. 4(46), вып. 3, 1938.
12. Ломизе Г. М., Насберг В. М., Дренаж подземных гидротехнических сооружений, издание ГрузНИТО строителей, Тбилиси, 1946.
13. Остапенко В. Н., Некоторые оценки решений уравнений эллиптического типа и их применение к исследованию точности метода ЭГДА, Автореферат: Институт математики АН УССР, 1955 г.
14. Остапенко В. М., Фильчаков П. Ф., Шаманский В. Е., Про моделирование плоских циркуляционных потоков, ДАН УССР, № 1, 1955.
15. Павловский Н. Н., Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и ее основные приложения, издание Гос. научно-исследовательского института, Пг., 1922.
16. Патрашен А. Н., Гидромеханика, Военно-морское изд-во, М., 1953.
17. Полубаринова-Кочина П. Я., Теория движения грунтовых вод, Гостехиздат, М., 1962.

18. Попов С. Г., Некоторые задачи и методы экспериментальной аэродинамики, Гостехиздат, М., 1952.
19. Пышкин Б. А., Определение давления волны на гидросооружения методом ЭГДА, Вестник чиж. и техн., № 1, 1940.
20. Рельтов Б. Ф., Исследование фильтрации в условиях пространственной задачи по методу ЭГДА академика Н. Н. Павловского, Известия НННГ, т. 15, 1935.
21. Семков О. М., Фильчаков П. Ф., До питання електромоделювання задач гідраліки відкритих водних потоків, ДАН УРСР, № 6, 1953.
22. Сергеев Л. А., Моделирование посредством электрического тока промышленных процессов фильтрации нефти и газа в пластах, Труды сектора физики Азербайджанского филиала АН СССР, вып. 1, 1940.
23. Толстов Ю. Г., Применение метода электрического моделирования физических явлений к решению некоторых задач подземной гидравлики, ЖГФ, т. 12, вып. 10, 1942.
24. Угодчиков А. Г., Электро моделирование задачи конформного преобразования круга на вперед заданную односвязную область, Укр. математ. журнал, т. VII, № 2, 1955.
25. Фильчаков П. Ф., Электро моделирование задач фильтрации в разнородном грунте, ДАН СССР, т. 66, № 4, 1949.
26. Фильчаков П. Ф., Моделирование задач фильтрации на электроприродной бумаге, ДАН СССР, т. 84, № 2, 1952.
27. Фильчаков П. Ф., Про моделювання задач обтікання зі зливом струменів, ДАН УРСР, № 5, 1955.
28. Фильчаков П. Ф., Паичишин В. И., Прибор для исследования фильтрации по методу ЭГДА, Гидротехническое строительство, № 9, 1953.
29. Фильчаков П. Ф., Паичишин В. И., Электроинтегратор ЭГДА-3, Укр. математ. журнал, т. VII, № 1, 1955.
30. Фильчаков П. Ф., Паичишин В. И., Интеграторы ЭГДА-6/51 и ЭГДА-6/53, Инструкция по эксплуатации и методике моделирования задач, Изд-во КГУ, 1955.
31. Флорин В. А., Расчеты оснований гидротехнических сооружений, Стройиздат, М., 1948.
32. Христианович С. А., Михлин С. Г., Девисон Б. Б., Некоторые новые вопросы механики сплошной среды, Приложение решение гидромеханических задач по методу ЭГДА, Изд-во АН СССР, М., 1938.
33. Creager W., Justin I., Hinds I., Engineering for Dams, New York, London, 1946.
34. Finzi Contini B., Modelli elettrolitici e campi di filtrazione, Chimica e industria, t. 36, № 6, 1954.
35. Hahnemann H. W., Ehret L., Über die Aufnahme rotationssymmetrischer Potenzialfelder in einem neuartigen elektrolytischen Trög, Forsch. Geb. Ingenieurwesens, B. 20, 85, 1954.
36. Huard de la Marre P., Nouvelles méthodes pour le calcul expérimental des écoulements dans les massifs poreux, Houille blanche, 8, N. — spécial A, 1953.
37. Huard de la Marre P., Schneebeli G., Méthode de solution pratique des problèmes d'écoulements de filtration non permanents à surface libre, C. r. Acad. sci. v. 236, № 13, 1953.
38. Prokeš V. I., Hálek V., Rybníkář J., Elektrická analogie v hydrodynamice podzemní vody proudící pod základy staveb, Vodní hospodářství, t. 4, № 11, 1954.
39. Taylor G. I., Sharmán C. F., A Mechanical Method for solving Problems of Flow in Compressible Fluids, Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Vol. CXXI, 1928.
40. Walker G. E., An Electrical Method of plotting Strimlines, Mech. World and Engng. Rec. 133, № 3408, 1953.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

### **СПИСОК ОРГАНИЗАЦИЙ, В КОТОРЫХ НАХОДЯТСЯ ИНТЕГРАТОРЫ ЭГДА-6 (по состоянию на I. VI 1955 года)**

#### **г. Москва**

1. Московский институт инженеров водного хозяйства
2. Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации.
3. Московский институт инженеров ж.-д. транспорта
4. Институт механики АН СССР
5. Московский государственный университет, геологический факультет.
6. Московский автодорожный институт.
- 7—8. Московский инженерно-строительный институт.
9. Московское отделение Всесоюзного государственного института «Гидроэнергопроект».
10. Московский геологический институт.
11. ВНИИ по строительству.
12. Всесоюзный заочный политехнический институт.

#### **г. Киев**

13. Институт математики АН УССР.
14. Институт геологии АН УССР.
15. Киевский государственный университет.
16. Киевский гидромелиоративный институт.
17. Украинский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации.
18. Укргипросельтектр.
19. Укргипрводхоз.
20. Институт гидрологии и гидротехники АН УССР.
21. Институт теплоэнергетики АН УССР.

#### **г. Тбилиси**

22. Тбилисский научно-исследовательский институт сооружений и гидроэнергетики.
23. Тбилисский институт инженеров ж.-д. транспорта.
24. Тбилисский государственный университет.
25. Грузинский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации.
26. Грузинский сельскохозяйственный институт
27. Грузинский политехнический институт

#### **г. Харьков**

28. Харьковский авиационный институт.
29. Харьковский инженерно-строительный институт.
30. Укрводгео.
31. Харьковский институт инженеров ж.-д. транспорта.

#### **г. Ленинград**

32. Военно-морская академия им. академика А. Н. Крылова.
33. Центральный научно-исследовательский институт лесосплава.

#### **г. Кубышев**

34. Кубышевский гидротехнический институт.
35. Кубышевский инженерно-строительный институт

г. Горький

- 36. Горьковский филиал Гипросельэлектро.
- 37. Горьковский инженерно-строительный институт.

г. Днепропетровск

- 38. Днепропетровский государственный университет.
- 39. Днепропетровский институт ж.-д. транспорта.

г. Одесса

- 40. Одесский гидромелиоративный институт.
- 41. Одесский гидротехнический институт.

г. Кишинев

- 42. Кишиневский сельскохозяйственный институт.

г. Ашхабад

- 43. Туркменский сельскохозяйственный институт.

г. Николаев

- 44. Николаевский кораблестроительный институт.

г. Павловск (Воронежской обл.)

- 45. Павловский гидромелиоративный техникум.

г. Бабускии (Московской обл.)

- 46. Всесоюзный и.-и. институт ж.-д. строительства и проектирования.